

## ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE COBERTURAS DE LA LOCALIDAD CIUDAD BOLÍVAR CON TECNOLOGÍA CLASlite

SEMILLERO MODELACIÓN, INNOVACIÓN, Y DESARROLLO FORESTAL  
PROYECTO CURRICULAR ADMINISTRACIÓN AMBIENTAL

**Autor:** Alexander Quíasua Gutiérrez - [aaquiasuag@correo.udistrital.edu.co](mailto:aaquiasuag@correo.udistrital.edu.co)  
Ziomara Corredor Sánchez - [mzcorredors@correo.udistrital.edu.co](mailto:mzcorredors@correo.udistrital.edu.co)  
David Puentes Sánchez - [dlpuentess@correo.udistrital.edu.co](mailto:dlpuentess@correo.udistrital.edu.co)

### RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la localidad de Ciudad Bolívar, Bogotá, Colombia y tuvo como objetivo evaluar el impacto ambiental en el cambio de coberturas vegetales por procesos antrópicos a partir de imágenes satelitales landsat 5 thematic mapper y landsat 7 thematic mapper plus para los años 1997, 2003 y 2010. Se hizo uso del software CLASlite vs 3.2 para la calibración de imágenes crudas, la segregación espectral de datos de reflectancia, la clasificación de los datos de cobertura fraccional y la detección de cambios. Posterior a esto, se utilizó el software arcGIS 10.3.1 para la generación de cartografía y el cálculo de las áreas de las diferentes coberturas encontradas. Además se llevó a cabo el cálculo para cada año la tasa de cambio, porcentaje de cambio y tasa de deforestación propuestos en investigaciones anteriores. Los valores que arrojaron las tasas de cambio (TAC), indican una pérdida en su cobertura: bosque natural BN con -0,09, vegetación natural y/o arbustiva Vn con -0,01. Así mismo, a partir del análisis estadístico se puede establecer una correlación entre la tasa de deforestación y el porcentaje de cambio entre los años estudiados

### PALABRAS CLAVE

Análisis multitemporal, cambios de cobertura, clasificación, deforestación

### ABSTRACT

The research was conducted in Ciudad Bolívar, Bogotá, Colombia and aimed to assess the environmental impact in the change of vegetation cover given by anthropogenic processes from satellite images Landsat 5 Thematic Mapper and Landsat 7 Thematic Mapper Plus for the years 1997, 2003 and 2010. Use of CLASlite vest 3.2 for the calibration of raw images, the spectral reflectance data segregation of software, data classification fractional coverage and detection of changes were made. Following this, the Arcgis 10.3.1 software for generating mapping and calculating areas of different coverage found was used. In addition, the calculation carried out for each year the exchange rate, percent change and deforestation rate proposed in previous research. Values that yielded higher rates of deforestation and changes in vegetation cover and natural forest BN natural vegetation and / or shrub Vn. Also, from statistical analysis

you can establish a correlation between the rate of deforestation and the percentage change between years.

## INTRODUCCION

Los ecosistemas a nivel mundial están variando drásticamente, por actividades humanas y el cambio en el uso del suelo influyendo en su degradación (Lambin, 1997). Los estudios adelantados por Chuvieco (1996) permiten determinar que el análisis multitemporal permite detectar cambios en la cobertura vegetal. Las imágenes de teledetección en la actualidad son utilizadas para analizar la dinámica del bosque con el fin de conocer los impactos y el cambio del uso del suelo a través del tiempo, sin embargo también han sido implementadas para inventarios forestales y estudios de modelización de carbono, agua y el ciclo de nutrientes en una zona determinada. Tanto así, que variedad de estudios han logrado recuperar los atributos estructurales en bosques altamente intervenidos y su diferenciación estructural asociada a la extracción forestal (Mertens & Lambin, 1999; Reserve & State, 2002; Bosques & Ávila, 2008; Drozd, Torrusio, & Arturi, 2008 y Carranza, Hoyos, Frate, Acosta, & Cabido, 2015). También se han encontrado estudios sobre el análisis de comportamientos ecosistémicos, tales como la composición, estructura y función a partir del uso de estas tecnologías (Masek et al., 2015).

En Colombia, Riaño (2002) establece que la detección de cambios se ha convertido en una herramienta esencial en programas satelitales con el fin de evaluar los comportamientos y transformaciones a través del tiempo. Estudios tales como el análisis de patrones de asentamiento y cambios de cobertura a partir de fotografías aéreas (Moncada, 2010;

Mendoza S. & Etter R., 2002), y el uso de sensores remotos para la homogenización de poblaciones, características demográficas y la distribución de agua (De Meulder, Shannon, & Rojas, 2015; Duque, Patino, Ruiz, & Pardo-pascual, 2015).

Surge como interrogante: ¿Cuál es el impacto ambiental que trae la urbanización y minería a cielo abierto en la vereda Mochuelo Bajo, Ciudad Bolívar, Bogotá? Es así que las imágenes satelitales son una herramienta esencial para el análisis de coberturas forestales a partir del manejo de información espacial, no obstante se necesita de información secundaria y su verificación en campo (Franco & Rodríguez 2005). El monitoreo y análisis multitemporal son herramientas útiles para evaluar superficies afectadas por procesos de deforestación (Reserve & State, 2002).

Así mismo, la fragmentación o pérdida de coberturas vegetales para la zona estudiada se da por el cambio del uso del suelo, como es el caso de la vereda Mochuelo Bajo, donde la minería a cielo abierto para la extracción de arcillas y los procesos de urbanización ha generado cambios en el paisaje y posibles impactos socioambientales.

## MÉTODOS

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La localidad de Ciudad Bolívar está ubicada al sur de la ciudad y limita con la localidad de Bosa, al norte, la localidad de Usme al sur, la localidad de Tunjuelito y Usme al oriente y con el municipio de Soacha al occidente. Tiene un área total de 12998,46 ha. Se pueden reconocer el suelo urbano de

3237,87 ha, suelo en expansión de 204,65 ha y el área rural de 9555,94 ha, más del 70% de la localidad. Dentro del suelo urbano 593 ha corresponden a áreas protegidas, 402,65 ha a áreas potenciales para el desarrollo de actividades como la urbanización y 2835,22 ha a suelo urbanizado. Está situada a una altitud de 2400 msnm en la parte más baja y en la parte más alta de 3100 msnm, con unas temperaturas que varían entre 9 a 19°C con un promedio de 14°C. En la localidad el ambiente es generalmente seco y soleado durante el año.

### **PREPARACIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES**

Se hizo uso de imágenes satelitales landsat 5 thematic mapper para los años 1997 y 2010 y landsat 7 ETM+ SLC-on para el año 2003, para poder evitar el problema de bandeo que traen las imágenes landsat 7 ETM+ SLC-off. Las imágenes de satélite fueron descargadas a través del portal de información geográfica USGS science for a changing world, Earth explorer Posterior a esto, a partir del software CLASlite vs 3.2, se realizó la calibración radiométrica a partir de factores de conversión suministrados por los proveedores de sensores satelitales. Dando como resultado una imagen en unidades de radiancia, conocida como energía medida por el sensor forestal (CLASlite 2013). Por otra parte, para la corrección atmosférica, CLASlite v 3.2 usa el modelo 6S de transferencia radiactiva que simula la atmósfera de la Tierra en cada imagen satelital, corrigiendo la imagen cruda a una de reflectancia superficial.

### **DETECCIÓN DE CAMBIOS**

Se hizo uso del software ArcGIS para la generación de mapas de cambios de cobertura para los años propuestos, identificando las

áreas de deforestación a partir del uso de la leyenda CORINE Land Cover Colombia (CLCC).

### **ANÁLISIS DE DATOS**

Posterior a esto se realizó el cálculo de tasa de deforestación y porcentaje de cambio propuesto por Dirzo & García (1990 citado en Ruiz et al., 2007; tomado de Moncada, 2010).

$$\text{Porcentaje de cambio} = \frac{(A_2 - A_1)}{A_1} * 100$$
$$\text{Tasa de cambio} = (\%A_1 - \%A_2)$$

$$\text{Tasa de deforestación} = 1 - [1 - ((A_1 - A_2) / A_1)]^T$$

Donde:

A1: Superficie total de cobertura analizada para el Año inicial.

A2: Superficie total de cobertura analizada para el Año final.

T: número de años entre ambos períodos.

Si el resultado del porcentaje de cambio es negativo (-) hay pérdida de cobertura en el tiempo Considerado; si es positiva (+) existe ganancia en la superficie.

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

Se puede evidenciar a partir de la gráfica 2, que los porcentajes de cambio para bosque natural BN y vegetación natural Vn arrojan valores negativos, es decir que existe una pérdida de cobertura, mientras que en las coberturas de territorios artificializados TA y territorios agrícolas TAG, las cifras son positivas, por lo tanto no hubo pérdida de cobertura ya que en épocas anteriores se llevó acabo posiblemente cambios del uso del suelo.

**Tabla 1. Cobertura del suelo y tasa de cambio (TAC) en el período 1997-**

Cob.	Area1997		Area2003		TAC	Area2010		TAC
	Ha	%	Ha	%		Ha	%	
TA	3501,39	26,93	3505,29	26,96	0,03	3509,39	27	0,04
TAG	1225,89	9,43	1259,98	9,69	0,26	1265,9	9,74	0,05
BN	4612,67	35,48	4579,68	35,23	-0,25	4567,67	35,14	-0,09
AV	3659,94	28,15	3654,94	28,12	-0,04	3656,93	28,13	-0,01
Total	12999,9	100	12999,9	100		12999,9	100	

TA: Territorios artificializados, TAG: Territorios agrícolas, BN: bosque natural, AV: Áreas con vegetación natural y/o arbustiva.

**Tablaz. Cobertura del suelo, porcentaje de cambio y tasa de deforestación (TAC) en el período 1997-2010**

Cobertura	Porcentaje de Cambio	Tasa de deforestación
TA	0,23	-0,0002
TAG	3,26	-0,0025
BN	-0,98	0,0008
AV	-0,08	0,0001

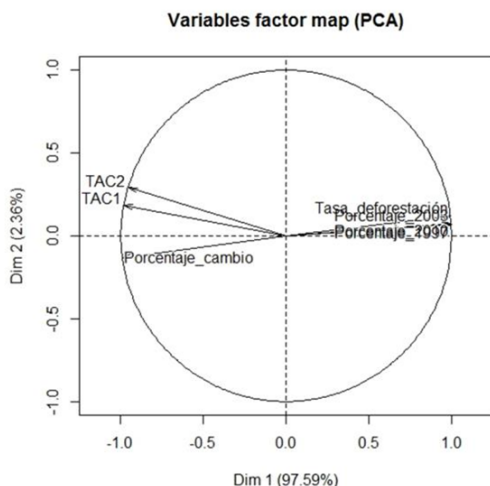
Se puede evidenciar a partir de la gráfica 2, que los porcentajes de cambio para bosque natural BN y vegetación natural Vn arrojan valores negativos, es decir que existe una pérdida de cobertura, mientras que en las coberturas de territorios artificializados TA y territorios agrícolas TAG, las cifras son positivas, por lo tanto no hubo pérdida de cobertura ya que en épocas anteriores se llevó a cabo posiblemente cambios del uso del suelo.

Por otra parte, la tasa de deforestación, muestra resultados acordes al porcentaje de cambio. Ya que los valores de pérdida de cobertura vegetal se evidencian tanto para bosque natural como áreas con vegetación natural y/o arbustiva, caso contrario a territorios artificializados y agrícolas.

Las tasas de deforestación y cambio no son significativas puesto que los procesos de asentamiento que se han llevado en la localidad de Ciudad Bolívar se dieron hace más de 13 años, por lo que el cambio del uso del suelo no se ha modificado de manera drástica durante los períodos analizados. Según los focos de deforestación se puede tener en cuenta que de las 12999,886 ha totales, 59,02 ha corresponden a zonas deforestadas durante el período 1997 y 2010.

El análisis estadístico estuvo apoyado en el software R donde se tuvieron en cuenta los porcentajes e índices calculados anteriormente. Se utilizó un análisis de componentes principales después de determinar si los datos se comportaban de manera normal.

En el caso de que no cumplieran con dicha distribución se realizaba una eliminación manual del dato anormal u "outlier".



**Figura 1. Análisis de variables por componentes principales.**

Se puede ver que en el grafico anterior se relacionan la tasa de deforestación con el porcentaje del área de las coberturas. Así mismo, la tasa de cambio tiene correlación en los tres momentos, sin embargo la tasa de deforestación no explica el porcentaje de cambio.

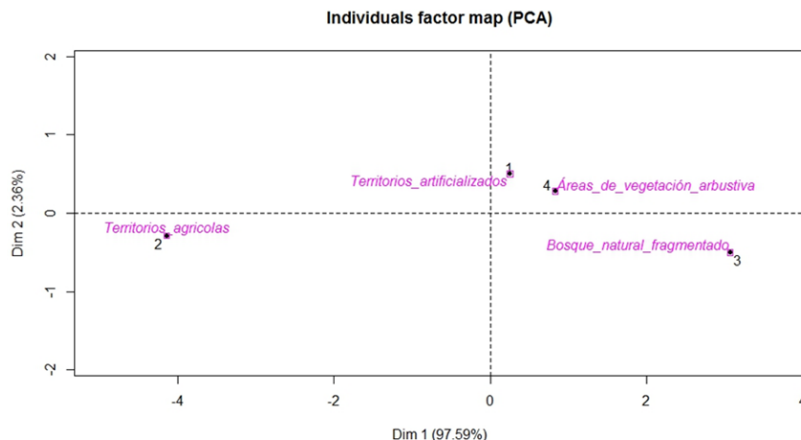
Se puede evidenciar que el análisis individual de los factores estudiados: áreas de vegetación arbustiva, bosque natural fragmentado y los territorios artificializados tienen correlación en cuanto a la pérdida de cobertura. (Figura 2)

Además no del todo son datos que se comportan de manera independiente ya que presentan solo un 2,36% de diámetro de los datos, por lo tanto si existieron cambios en las coberturas, aunque poco significativos en el eje "y" (59,02 ha) En cuanto al componente del eje "x" se puede determinar que la diferencia entre los cambios de cobertura son de alguna manera antagónica con un porcentaje de 97,59% ya que los cambios no se presentan de la misma manera, pues el cambio en una de las coberturas están en función de las demás.

#### *CAMBIO DE USO DEL SUELO PERIODO 1997-2010*

Para los periodos en los que se llevó a cabo la evaluación, se lograron evidenciar cambios de cobertura para el área de Bosque Natural. En el primer periodo (1993-2007)

**Figura 2. Análisis individual de los componentes principales.**



las coberturas de Bosque Natural y Áreas de Vegetación Arbustiva reflejaron un ligero incremento, sin embargo para el siguiente periodo (2003-2010), estas sufrieron una disminución. Este cambio se puede apreciar debido a que el establecimiento por parte de las industrias mineras en las décadas de los años 80 y 90, tuvieron un gran auge en la periferia de la ciudad; lo que logro la gran expansión de esta actividad por parte de empresas como Argos, Cemex y otra serie de pequeñas industrias. Todo esto se refleja en el mapa de focos de deforestación obtenido del Software CLASlite v.3.2. Por otro lado los cultivos transitorios y los territorios artificializados tuvieron un gran aumento en sus coberturas, evidenciando una de las mayores problemáticas que enfrenta la capital frente a sus áreas rurales (urbanización).

En un inicio la gran mayoría de las actividades consistían en la explotación de canteras para materiales de construcción, después surgió lo que popularmente se denomina como viviendas no formales por medio de la invasión de los cerros. La segunda fase de expansión urbanística del territorio, se fortaleció en los años 70 y 80 en la franja alta y montañosa. La actividad de extracción en Ciudad Bolívar se inició con anterioridad al proceso de urbanización, para atender las demandas del crecimiento del extremo sur de la ciudad.

Según Garzón (2013), la minería que ha caracterizado a la ciudad de Bogotá y la localidad de Ciudad de Bolívar ha generado consigo problemas de tipo paisajístico y estructural. Debido a que estas no han sido realizadas bajo parámetros técnicos. Como se pudo evidenciar en los datos obtenidos, los mayores parches de fragmentación son provenientes de las veredas Pasquilla y Quiba, debido a

que son sectores que hasta hace 20 años no habían sido intervenidos por poblaciones aledañas.

## CONCLUSIONES

A la hora de contrarrestar los resultados encontrados con investigaciones realizadas para esta zona, fue poco lo que se pudo comparar ya que la información encontrada es mínima y no muy verídica frente a los valores de deforestación y cambio del uso del suelo.

Por otra parte, en la zona rural de la localidad de Ciudad Bolívar se llevan a cabo actividades de Minería a cielo abierto, las cuales no cuentan con asistencia técnica para programas de reforestación o conservación de coberturas.

En cuanto a las tasas encontradas de deforestación y cambio, arrojan valores poco significativos ya que los procesos de cambio del uso del suelo se han llevado a cabo hace más de 20 años con la expansión de urbanización de la ciudad. Por lo que la transformación de coberturas en el periodo analizado se comportó de forma lenta.

Por último, el software CLASlite es una herramienta muy útil para la detección de cambios en áreas de gran extensión, permitiendo identificar los focos de deforestación presentes, por lo tanto es de gran beneficio su implementación en proyectos llevados a cabo en el sector forestal.

Según Riaño (2002), a manera de recomendación, se debe realizar un posterior de reconocimiento de la zona a partir de caminatas transepto con el fin de corroborar y contrastar información arrojada por los sensores remotos.

## AGRADECIMIENTOS

Dedicamos de manera especial este trabajo a los profesores René López Camacho y a Robert Leal Pulido ya que fueron parte fundamental para el desarrollo de esta investigación. A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y al Instituto Carnegie para la Ciencia perteneciente a la Universidad de Stanford por ser las instituciones que nos brindaron todo el conocimiento y profundo apoyo. De la misma manera al semillero de investigación MIDFOR por su soporte incondicional.

A nuestras familias como ejes importantes dentro del desarrollo de nuestras vidas como personas y profesionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Bonansea, M., Rodríguez, M. C., Pinotti, L. & Ferrero, S. (2015).** Using multitemporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment*, 158, 28–41. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.032>

**Bosques, M., & Ávila, D. A. (2008).** Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría, Aguas calientes, México. *Multitemporal study on forest fragmentation in sierra Fría*. *Maderas y Bosque*, 14(1), 3, 4.

**Cabrera E., Vargas D. M., Galindo G. García, M. C., Ordoñez, M. F., Vergara, L. K., Pacheco, A. M., Rubiano, J. C. y Giraldo, P. (2011).** Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional – escalas gruesa y fina. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 106 p.

**Carranza, M., Hoyos, L., Frate, L., Acosta, A. & Cabido, M. (2015).** Measuring forest fragmentation using multitemporal forest cover maps: Forest loss and spatial pattern analysis in the Gran Chaco, central Argentina. *Landscape and Urban Planning*, 143, 238–254. [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.006](http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.006)

**Chuvieco, E. (1996).** Fundamentos de teledetección espacial. España-Madrid: Ediciones RIALP. S.A.

**CLASlite Team. 2013.** CLASlite Forest Monitoring Technology: Version 3.1 User Guide Web URL: <http://claslite.carnegiescience.edu>. Carnegie Institution for Science, Washington, DC.

**FAO. (2015).** Conservación de suelos y aguas en América Latina y el Caribe. <http://www.fao.org/americas/perspectivas/s/suelo-agua/es/> [F. Consulta: 20151127]

**Franco, R. (2005).** Análisis multitemporal satelital de los bosques del Carare- Opón, mediante imágenes landsat de 1991 y 2002. *Colombia Forestal*, 9(18).

**Garzón, N. (2013).** Análisis preliminar de los impactos ambientales y sociales generados por la minería de arcillas a cielo abierto en la vereda el Mochuelo bajo, Ciudad bolívar, Bogotá estudio de caso.

**Lambin, E. (1997).** Modelling deforestation processes: a review tropical ecosystem environment observations by satellites. TREE Series B., Research Report No. 1. European Commission Joint Research Centre–Institute for Remote Sensing Applications– European Space Agency, Luxembourg.

**Lhermitte, S., Verbesselt, J., Verstraeten, W., Veraverbeke, S. & Coppin, P. (2011).** Assessing intra-annual vegetation regrowth after fire using the pixel based regeneration index. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(1), 17–27. <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.08.004>

**Masek, J. , Hayes, D. , Joseph Hughes, M., Healey, S. & Turner, D. (2015).** The role of remote sensing in process-scaling studies of managed forest ecosystems. Forest Ecology and Management, 355, 109–123. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.05.032>

**Mertens, B. & Lambin, E. (1999).** Modelling land cover dynamics: integration of fine-scale land cover data with landscape attributes. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 1(1), 48–52. [http://doi.org/10.1016/S03032434\(99\)85027-2](http://doi.org/10.1016/S03032434(99)85027-2)

**Moncada, D. (2010).** Análisis espacio-temporal del cambio en los bosques la alfarería en Aguabuena, (Ráquirá – Boyacá). Colombia Forestal, 13(2), 275–298.

**Patino, J. E., & Duque, J. C. (2013).** A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings. Computers, Environment and Urban Systems, 37(1), 1–17. <http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.06.003>

**Rendón, M. (2009).** Implicaciones ambientales generadas por las poblaciones que migran a las ciudades: estudio de caso en el barrio Caracolí - localidad Ciudad Bolívar- Bogotá.M.S.c.

**Reserve, T. F., & State, B. (2002).** Evaluación de las deforestaciones en la Reserva Forestal de Ticoporo, estado Barinas-Venezuela, en base al análisis multitemporal de imágenes de percepción remota, 43(2), 215–231.

**Riaño, O. (2002).** Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. Colombia Forestal, 7(15).